

探索氘/固体系统中的异常核现象

江兴流

(兰州大学现代物理系 兰州 730030)

摘要 本文介绍了世界有关研究机构在冷聚变这一有重大争议领域的研究动态. 许多实验室相继报导了在处于非平衡态的氘/固体系统中, 观察到超常热、质子、氘和中子等异常核现象. 在金属氢化物的性能、电解过程中的尖端效应和聚能过程、随机中子和低产率中子的测量技术、集团束冲击核聚变等方面的探索取得了许多令人瞩目的成果. 提出了热等离子体模型、多体屏蔽效应、量子玻色等离子体理论、相干核反应机制、钷核的中子俘获效应、表面定域理论等许多理论模型.

关键词 冷聚变, 电化学, 超常热, 尖端效应.

1 引言

弗莱希曼、庞斯和琼斯^(1,2)等人发表了用电化学方法诱发核聚变的结果, 为在晶格环境中, 如何提高核聚变率, 获得超常热、质子、氘和中子等核反应产物, 提出了一个新课题. 在1989年4至6月的那段时间里, 在世界范围内曾经出现过一个冷聚变热. 但当各国科学家重复他们的实验遭到失败或无明显结果时, 这个“成就”很快就被否定, 并被指责为“轻率”“欺骗”和“病态的科学⁽³⁾”. 1991年6月, 犹他州冷核聚变研究所的关闭等于盖棺论定. 但实际上, 各国仍有一批科学家认为, 冷聚变提出了涉及核物理、凝聚态物理、电化学、原子分子物理和材料科学等领域的许多值得探讨的问题, 并且一直在进行研究和实验. 1991年6月, 在意大利科莫湖举行的第二届冷核聚变年会上, 各国科学家200余人交流了冷聚变研究的最新成果. 会议作出的结论指出: 使用越来越精密的仪器进行实验的结果表明, 冷核聚变产生的现象在许多方面都得到证实. 美国洛斯·阿拉莫斯国家实验室的科学家 Storms 对40次实验进行统计调查, 发现21次产生的热能超过输入的电能; 13次发现了氘; 36

次记录到中子. 这些结果证明: 产生热能已是不可忽视的事实, 同时也发生了某种核聚变反应. 现在应该理性地来了解冷聚变这一真实现象, 而不只是一味设法去否定它.

2 冷核聚变的验证

对于与冷核聚变有关的轻核聚变反应, 大致可归纳为表1所列的一些反应道⁽⁴⁾.

在冷核聚变实验中, 用于储氘的固体是具有很高溶解氢及其同位素能力的过渡金属 Pd 和 Ti, 有些实验也用其他金属 (Zr, V 等) 或者合金 (Pd-Ag, Ti-Al, Pd-Ag-Au 等).

金属充氘的方法有: (1) 电解法; (2) 高压法; (3) 离子注入法; (4) 放电法等. 为产生非平衡态所采用的外部作用有: (1) 机械变形; (2) 超声波作用; (3) 冷热循环法; (4) 电冲击法等.

核反应产物的测量方法有: (1) 量热法; (2) 中子和 γ 射线的测量; (3) 带电粒子 P、T、 ^3He 的测量; (4) 放射化学法、质谱法、辐射照相法测量 T、 ^3H 、 ^4He ; (5) X 射线测量; (6) 射频发射测量; (7) 声学发射 (尤指裂纹产生时) 的测量等.

表 1 与冷核聚变有关的轻核聚变反应

核 反 应	释放能量 (MeV)	产生 1W 应有的反应数 ($10^{12}/s$)
(1R) $P+D \rightarrow {}^3\text{He}+\gamma(5.5)$	5.5	1.1
(2R) $D+D \rightarrow {}^3\text{He}(0.82)+n(2.45)$	3.27	1.9
(3R) $D+D \rightarrow T(1.01)+P(3.02)$	4.03	1.6
(4R) $D+D \rightarrow {}^4\text{He}+\gamma(23.8)$	23.8	0.26
(5R) $D+T \rightarrow {}^4\text{He}(3.5)+n(14.1)$	17.6	0.36
(6R) $D+{}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He}+{}^4\text{He}$	22.4	0.28
(7R) $D+{}^6\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Li}+P$	5.0	1.3
(8R) $D+{}^6\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be}+n$	3.4	1.8
(9R) $D+{}^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He}+{}^4\text{He}+n$	15.1	0.41

注: 反应式括号中的数字为能量 MeV

关于冷核聚变的概念,早在 1926 年就由德国科学家潘尼斯和彼德斯提出.此后,不时有这方面的实验结果发表.1986 年,苏联 B. A. Kmoeb 等人发表了他们在粉碎含氘固体时,观察到核聚变产物的结果.类似的结果,也在其他实验室观察到⁽⁴⁾.美国布鲁克海汶国家实验室的 R. J. Beuhler 等人用加速 (D_2O)⁺ 分子集团 ($\sim 150\text{eV}/u$) 的方法观察到比理论预示高得多的聚变反应率⁽⁵⁾.这些结果都说明,在含氘固体中有许多诱发核反应的特殊性,值得深入探索.尽管弗莱希曼、庞斯早期发表的结果受到普遍怀疑,但基于上述实验事实,世界范围的冷核聚变研究仍在继续进行.有些实验室的实验结果受到广泛重视,如:意大利物理学家弗·斯卡拉莫小组把钛片放在高压氘的容器中,在液氮中冷却时,测到了每秒数百个中子的信号.弗雷斯卡蒂能源中心用类似的方法,也观察到中子脉冲.美国洛斯·阿拉莫斯国家实验室、中国原子能研究院、日本的 NTT 基础研究所、日立公司能源研究所等用相似的实验方法先后测到中子脉冲⁽⁶⁾,而且在不断改进实验方法的条件下,再现率有所提高.

许多实验室对 (D, D) 反应产物—氘进

行测量,虽然重复不够好,但发表肯定结果的研究机构都有一定的权威性,如:洛斯·阿拉莫斯国家实验室的测氘中心,印度巴巴原子能研究中心的同位素部和重水部等,都拥有世界一流的操作和分析氘的专家.原盐湖城冷核聚变研究所所长 F. Will 指出, D/Pd 比值大于 0.85 时,能产生氘,而且氘的产生是不均匀的,表现为电极上局部有高浓度的氘 (Hot Spot).他们作了四次实验,每次都测到氘.

日本许多研究机构对冷核聚变有着很高的热情,公开发表的论文、专著很多⁽⁶⁾.名古屋大学的和田、西泽用放电法激活钨电极,然后充氘,测到高产额的中子.这一实验结果在我国北师大得到重复.大阪大学拥有先进的中子检测装置,他们用电解法测到的中子谱中,除 2.45MeV 能量的中子外,还测到处于 3~7MeV 能区的中子,他们提出用 3 体 (3D) 反应模型解释观察结果的一些论据.

曾经是冷核聚变研究浪潮的主要人物之一的庞斯,由于种种原因离开犹他州后,在法国尼斯重建了他的实验室.在科莫湖冷核聚变年会上,他报告了改进量热系统后的实验结果,并透露了电极材料及其处理方面的

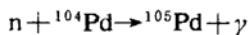
一些数据. 他的超常热实验结果是由犹他州立大学物理学家 W. N. Hansen (一个评审委员会的负责人) 宣布的. Hansen 选出的 8 组数据中, 5 组确有超常热, 1 组可能有超常热, 另外 2 组为对照实验.

此外, 受到美国电力研究协会 (EPRI) 资助的斯坦福研究所, 在超常热测量中多次重复. 该所的 Mckubre 认为, 不存在冷聚变不能重复的问题, 而是人们现在还没有真正具备重复实验的宏观的和内部的条件.

3 冷核聚变理论探索

普遍认为, 钯晶体的固态环境对 (D, D) 聚变反应的增强起关键作用^[7], 因为钯、钛等过渡金属对氢及其同位素有高的吸收率. J. H. You 等人提出, 在钯充氘过程中, 存在沟道准直效应, 使钯对氘的吸收得以增强^[8]. 当钯晶格中的氘浓度足够大时, 钯的物化性能, 如导电率、晶格常数、原子密度和热容等都要发生变化, 并将出现脆化和裂纹等现象, 这些因素可能产生有利于冷聚变的条件. 为此, 有人认为, 吸氘金属应具有很低的塑性.

J. C. Jackson 提出了一个包括钯核中子辐射俘获的链式反应机制:



一个中子为一个钯核俘获产生一个钯的同位素核和一个 γ 光子, 这一光子将引起氘核分裂放出另外一个中子. 钯晶格中的高氘核密度将引起这种链式反应, 而这一链式反应的最终产物将是热和电子^[7]. 实验中也发现电化学充氘后, 钯电极近表面¹⁰⁶Pd 富集, 而¹⁰⁵Pd 和¹⁰⁸Pd 减少. 有人认为, 辐射俘获可能是冷核聚变的一重要因素.

J. Schwinger 提出用 $\text{p} + \text{D} \rightarrow {}^3\text{He} + 5.5\text{MeV}$ 反应解释冷核聚变现象. 他认为, 由于宇称守恒会禁戒电偶极跃迁, 于是³He 从

激发态退激时放出的不是 γ 射线, 而是晶格的热能.

麻省理工学院 P. L. Hagelstein 的相干聚变反应机制认为, 虚中子态 (Virtual neutron) 和超中微辐射 (Superradiant neutrino emission) 将增高聚变反应率.

亚利桑那大学的 J. Rafelski 作了许多关于冷聚变方面的理论工作, 其中有多体非平衡量子现象, 即不受经典制约的量子过程. 他认为, 只有调和时间相关晶格位中的等离子体模型才能对凝聚态物质中的聚变现象给出最终理论回答.

成都科技大学苟清泉认为: 当氘原子被钯吸收而进入面心立方晶胞中心位置时, 受到周围最近邻六个钯原子实的吸引, 使价电子云扩展成一个大球, 从而使氘核与价电子结合变弱, 行动比较自由, 氘核间库仑排斥作用大为减小. 此外, 氘核在晶体中振动频率很高 ($\sim 10^{12}/\text{s}$) 邻近核的近程碰撞速率大大提高, 容易产生核聚变.

冷聚变现象首先在电化学过程中观察到, 笔者对电化学过程进行细密的考察和研究之后, 提出了用包含尖端效应和磁自收缩理论的局域表面模型解释冷核聚变现象^[9]的论据. 由于电极表面总是存在微凸起和微针尖, 尖端效应引起的局部电场升高, 使电流密度分布不均匀, 从而导致进入钯晶格内部的氘核流分布不均匀. 如果把钯晶体内存在的高密度电子云和游动的氘核看成是一个量子玻色等离子体, 则由于高电场和高密度梯度产生的入射到这一量子玻色等离子体中的高密度氘核流, 将因磁自收缩作用而成为细丝. 这种氘核流细丝与浓密等离子体焦点中子源 (DPF) 有相似之处, 后者在氘等离子体磁自收缩过程中观察到比理论预示高得多的脉冲中子, 这一现象在星体内部曾被观察到. 在吸氘金属中, 由于温度升降引起的相变过程中, 也将出现氘核流动以及由磁自收缩现象产生的细丝效应. 量子玻色等离子体产生

的库仑屏蔽效应使核聚变率大为升高, 从而达到可观测的水平.

由于实验现象的复杂性, 要得出一个具有自洽性的理论解释, 还要进行大量的实验研究和理论分析.

4 结束语

如果冷核聚变确实存在, 并且可以加以利用, 那么它将以一种取之不尽用之不竭的干净能源而造福于全人类. 但愿望不等于现实, 冷核聚变能否最后成功, 需要通过实践来作出结论. 弗莱希曼最近在接受记者采访时说, 他对当初公布实验结果的行为不后悔, 并坚信, 他与庞斯的实验“提出了一种极为有趣的新科学”.

为了记录科学家们在探索一个新的有很大争议的科学项目时所付出的代价, 美国康乃尔大学在国家科学基金资助下决定建立一个冷核聚变档案馆, 科学家及其他研究人员可以把正式或非正式的手稿、透明片、幻灯片或实验记录送到该档案馆, 以便为历史学家、科学社会学家提供研究资料.

不管最终裁决如何, 二年多来, 科学家在冷核聚变研究中所取得的成果是令人瞩目的. 这些成果包括对金属氢化物性能的深入

了解^[10]、低能区核聚变反应截面的理论研究、随机中子和低产率中子测量技术的改进、集团束冲击核聚变研究和晶格应力引发核聚变探索等等. 有人说, 犹他大学关于冷核聚变的报告激发起人们自阿波罗登月以来对自然科学的最大好奇心, 冷核聚变有如此诱人的应用前景, 谁不希望它能成为现实呢? 但是, 科学需要我们持审慎态度, 需要付出艰辛的劳动.

参 考 文 献

- 1 Fleischmann M, Pons S. J. *Electroanal. Chem.*, 1989, 261: 301
- 2 Jones S E, et al. *Nature*, 1989, 338: 737
- 3 Morrison D. *Physics World*, 1990, (2): 35
- 4 Jiang X L, Xu N, Han L J. *AIP Conference Proceedings* 228, American Institute of Physics, New York, 1991, 801
- 5 Beuhler R J, et al. *Phys. Rev. Lett.*, 1991, 67: 473
- 6 立川圆造等. *原子力工业*, 1991, 37: 10
- 7 Bockris J O' M, et al. *Fusion Technology*, 1990, 18: 10
- 8 You J H, et al. *Phys. Rev.*, 1991, B43: 7293
- 9 Jiang Xingliu, et al. *Point-effect and Non-equilibrium Conditions in Electrolysis Experiments, "Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/solid Systems"*, Oct. 22~24, Provo, Utah, 1990
- 10 Myers S M, et al. *Phys. Rev.*, 1991, B43: 9503

Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/Solid Systems

Jiang Xingliu

(Department of Modern Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000)

Abstract A brief introduction of recent investigation about the cold nuclear fusion by numerous laboratories throughout the world has been given experimentally and theoretically in this paper. Under non-equilibrium conditions of deuterium/solid system, the production of excess heat, protons, tritium, neutrons, and gamma rays have been reported. Scientists have gained the quite salutary effects to learn the behavior of metal hydrides in this brief span of time than in the past 100 years, to improve the measurement technique of neutron bursts and neutrons with low rates, to get the significant new findings of heavy-water cluster impact fusion and so on. In nuclear physics, theoreticians have proposed

some hypothesises, such as the hot plasma model, many-body screening effects, the quatum plasma of bosons, the coherent fusion reaction mechanisms, the model of neutron capture by palladium, and the localized surface model etc. to explain the anomalous nuclear effects.

Further study of cold nuclear fusion is expected to improve the reproducibility of fusion products, and to find the model of self-consistent theory.

Key Words cold fusion, electrochemistry, excess heat, point—effect.

全国电子加速器及应用学术交流会简介

1991年10月31日~11月3日在南京召开了全国电子加速器及应用学术交流会,该会由中国粒子加速器学会电子加速器及应用专业组主办。来自全国25个研究单位、高等院校和工厂的72位代表参加了会议。会议共收到论文65篇。二篇特邀报告分别由学会副理事长刘乃泉教授和江苏省物理学会理事长龚昌德教授在大会开幕式上报告。报告内容广泛,可分为6个方面:

- 1、电子加速器学科发展的综述与分析
- 2、电子加速器的理论设计研究
- 3、电子加速器及部件的设计研制
- 4、电子加速器的运行及应用
- 5、电子加速器性能控制与测量技术
- 6、电子加速器辐射剂量场的形成与测量

会上实际报告56篇论文,其中16篇大会报告,其余40篇分2个小组报告讨论。会上学术气氛浓厚,讨论热烈。除会上交流讨论外,会下的交流活动也很活跃,有的还进行了协作商谈。这些都说明电子加速器及应用科技领域在我国蓬勃发展的势头,也表明新专业组的划分对学术交流是有吸引力的。

会议反映了近年来我国不同类型的高、中、低能电子加速器在理论研究、设计、研制、生产及应用等方面所取得的许多新成果,特别是其它高技术领域对电子加速器性能指标提出了新的更高的要求,从而促进了我国电子加速器学科研究向更高水平发展。

(兰州大学现物系 洪忠悌供稿)

国际会议预告

1992年9月8日至11日,将在美国北卡罗莱纳州首府罗列(Raleigh)召开第二届工业辐射和放射性测量应用会议。会议的组织单位有:美国核学会同位素与辐射部;美国核学会东卡罗纳分会(ECS);Troxler电子实验室;Troxler电子公司;北卡罗莱纳州立大学放射性工程应用中心(CEAR);美国电气与电子工程师协会(IEEE)。会议内容主要包括:(1)工业辐射测量仪表;(2)工业辐射分析;(3)放射性同位素示踪技术在水文学与工业过程中的应用;(4)工业放射性照像;(5)工业断层成像;(6)地球物理中的核

测量;(7)大体积介质的核测量;(8)核反应分析;(9)工业辐射测量中计算机硬件和软件的新进展;(10)过程控制中的核测量;(11)辐射探测与分析工艺,另外,会议期间还将安排工业展览。

本次会议的主席为CEAR主任R. P. Garder教授。

第一届工业辐射和放射性测量应用会议曾于1988年9月6日至9日在罗列召开,当时大会的名誉主席为英国核地球物理专家C. G. Clayton博士。

(黑龙江省技术物理所 哈尔滨 肖度元供稿)